

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ПЕРЕТВОРЕННІ  
ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»**

Проведено огляд та аналіз діяльності щодо застосування комп'ютерного моделювання для підтримки робіт з експлуатації та перетворення об'єкта "Укриття" ЧАЕС. Показано специфіку задач, що вирішуються з використанням різних методів моделювання. Наведено рекомендації щодо подальшого розвитку та використання методів комп'ютерного моделювання на наступних етапах перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему.

*Ключові слова:* Чорнобильська АЕС, об'єкт «Укриття», новий безпечний конфайнмент, паливовмісні матеріали, радіоактивні відходи, вилучення, комп'ютерне моделювання, комп'ютерна графіка.

**Вступ**

30-річний досвід ліквідації наслідків найважчої запроектої аварії в історії світової атомної енергетики (4-й енергоблок ЧАЕС, 26 квітня 1986 р.) показав необхідність використання всіх доступних методів і засобів для вирішення існуючих проблем, особливо із забезпечення радіаційної безпеки.

Одним з важливих методів вирішення даного кола задач є використання комп'ютерного моделювання (КМ).

Зокрема, у процесі експлуатації та перетворення об'єкта "Укриття" КМ широко використовувалося в різних задачах для створення інтегрованих проектів із використанням комп'ютерних моделей приміщень, фото- і відеоматеріалів, даних по радіаційній обстановці і динаміці її зміни, дозам персоналу у процесі переміщення в радіаційно-небезпечних зонах і під час проведення робіт. Важливим інструментом для розробки такого роду моделей є комп'ютерна графіка.

В Інституті проблем безпеки АЕС НАН України (далі – ІПБ АЕС) моделювання широко використовувалося для вирішення різних груп задач, таких як:

вибір оптимальних сценаріїв перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему: аналіз процесу перетворення [1], вибір оптимальних концептуальних рішень перетворення ОУ [2], застосування багатокритеріального аналізу [3];

процес вимірювання радіаційної обстановки в умовах об'єкта "Укриття": вимірювання трансуранових елементів (ТУЕ) в радіоактивних відходах [4], оцінка граничних умов застосування ковшового дозиметра для первинного сортування [5], математичне моделювання багатодетекторних установок [6] і процесу вимірювання кутових розподілів за їхньою допомогою [7], моделювання величини кутового розділення багатодетекторних установок [8], застосування методів штучного інтелекту для моделювання процесу вимірювання [9];

моделювання радіаційної обстановки в об'єкті "Укриття" і поблизу нього: моделювання зміни радіаційної обстановки при проведенні земляних робіт [10], моделювання радіаційних характеристик паливовмісних матеріалів (ПВМ) [11], оцінка внеску гамма-випромінювання об'єкта "Укриття" в потужність дози на прилеглий території [12], процес поширення радіоактивних аерозолів усередині радіаційно-небезпечних об'єктів [13], моделювання радіаційної обстановки в забруднених приміщеннях [14], об'ємний розподіл полів гамма-випромінювання [15], динамка зміни радіаційної обстановки у процесі проведення робіт з вилучення ПВМ [16];

забезпечення радіаційної безпеки в процесі перетворення об'єкта "Укриття": оптимізація разової дози і товщини біозахисту при проведенні робіт [17], аналіз безпеки і оцінка впливів на навколишнє середовище [18], діяльність у радіаційно-небезпечних зонах [19], оцінка допустимих викидів з нового безпечного конфайнмента (НБК) [20], фізичне і математичне моделювання екранування [21], вплив на навколишнє середовище за рахунок техногенної діяльності в зоні відчуження [22], забезпечення радіаційної безпеки [23], моделювання радіаційно-небезпечних зон з метою оптимізації дозових навантажень персоналу [24], управління радіаційними ризиками [25];

розробка технічних пропозицій щодо організації процесу вилучення ПВМ [26, 27] та ін.

У даній роботі проведено короткий огляд методів КМ, завдання та специфіки застосування КМ при експлуатації об'єкта "Укриття" і на різних етапах його перетворення.

### Способи моделювання, що застосовувалися

Вивчення різних компонентів об'єкта "Укриття", динаміки їхньої зміни у процесі перетворення об'єкта "Укриття" може бути виконано шляхом комбінації фізичних експериментів і КМ. Прикладами такого виду моделювання може служити КМ методів і засобів вимірювання [4 - 9], фізичне (за допомогою установки "Екран") і математичне моделювання екранування [21]. В умовах проведення робіт на об'єкті "Укриття" використання такого КМ призводить не тільки до економії матеріальних витрат, але і до істотного зменшення колективної дози персоналу.

КМ - приваблива заміна фізичних експериментів, оскільки не вимагає виготовлення експериментального зразка; за допомогою КМ може бути поставлено будь-яке число числових експериментів й отримано будь-які динамічні показники, що цікавлять дослідника. Комп'ютерні моделі можуть бути використані для виявлення та усунення проблем ще до виробництва першого зразка установки або системи, що особливо важливо для одиничних виробництв механізмів для роботи в умовах об'єкта "Укриття". Зокрема, дуже корисним може бути моделювання процесу вилучення ПВМ з об'єкта "Укриття" [26, 27].

У порівнянні з натурними експериментами КМ забезпечує всебічний, рентабельний і безпечний аналіз різних систем. Це дає можливість з мінімальними витратами піддавати ретельному аналізу, у тому числі, нові ідеї та рішення, зокрема при виборі оптимальних варіантів перетворення об'єкта "Укриття" [1 - 3] та оптимізації радіаційного захисту при проведенні робіт [17 - 25].

Метою КМ технічної системи в загальному випадку є аналіз її властивостей з використанням побудованої моделі [28]. Причому залежно від розв'язуваної задачі тип моделі буде різним (таблиця). Підставою класифікації є ключове завдання, для якої модель реалізується і використовується, від централізації інженерних даних по об'єкту до моделювання фізичних і технологічних процесів та навчання персоналу [29].

#### *Типи розроблених комп'ютерних моделей залежно від розв'язуваних задач*

Ключова задача	Інші задачі	Тип рекомендованої моделі об'єкта "Укриття" та НБК	Технології для створення моделі об'єкта "Укриття" та НБК
Візуалізація об'ємів і взаємного розташування об'єктів	Отримання планів, розрізів, ізометричних креслень	Інженерна 3D модель приміщень об'єкта "Укриття", НБК та локальної зони	Системи тривимірної графіки та анімації 3ds max 2011
Перевірка на просторові колізії при проектуванні (3D моделюванні) об'єкта	Створення відеоматеріалів, анімації		Системи автоматизованого проектування AutoCAD 2011
Моделювання фізичних і технологічних процесів Оптимізація технологічних процесів Відлагодження основних проектних рішень на моделі, а не у процесі будівництва об'єкта	Візуалізація та моделювання процесу демонтажу складного негабаритного обладнання Моделювання аварійних ситуацій і вибір найкращих способів їхнього усунення	Імітаційна модель вилучення ПВМ з об'єкта "Укриття"	Програми для візуалізації та/або програми для симуляції фізичних явищ - Unity3D 3.4
Навчання монтажних бригад, будівельного та обслуговуючого персоналу	Навчання та тренування персоналу перед початком робіт із вилучення ПВМ	Інтерактивна модель вилучення ПВМ з об'єкта "Укриття", імітаційної моделі	Програми для візуалізації та/або програми для симуляції фізичних явищ - Unity3D 3.4

Існуючі методи дослідження розпадаються на дві основні групи - аналітичні та імітаційні. Методи аналітичного дослідження зводяться до отримання досить компактних аналітичних виразів, за допомогою яких можна вивчати поведінку всієї системи або деяких вузлів у вигляді деяких функціоналів [10 - 14]. Істотним недоліком цих методів є те, що вони застосовується тільки для відносно простих структур. Найбільш точні результати дозволяє отримати метод, заснований на фізичному моделюванні процесів [21]. Недоліком цього методу, що не дозволяє знайти широке застосування, є висока вартість макета системи. Метод імітаційного моделювання значною мірою усуває ці недоліки.

Імітаційний метод моделювання має істотно менші обмеження на область застосування в порівнянні з аналітичними моделями і дає змогу одержати більш достовірні оцінки характеристик мо-

дельованої системи. У плані імітаційного моделювання слід розрізняти два етапи: етап побудови моделі та етап планування експерименту на моделі.

Основні принципи при розробці інженерних, імітаційних та інтерактивних моделей, особливості та приклади їхнього застосування в умовах ОУ наведені в роботі [26].

Нижче наведено деякі приклади практичного застосування КМ у процесі перетворення об'єкта "Укриття".

### Моделювання стану об'єкта «Укриття» та радіаційної обстановки

#### Створення інтегрованої інформаційної системи моделі стану приміщень і промислового майданчика об'єкта «Укриття»

В ППБ АЕС було розроблено технології та наведено результати робіт зі створення:

графічних моделей приміщень 4-го блока засобами автоматизованої системи проектування AutoCAD відповідно до будівельних креслень і нанесення на них інформації з післяаварійної ситуації (зруйнованих будівельних конструкцій, новозбудованих післяаварійних конструкцій, напливів бетону, радіаційної обстановки та інших об'єктів), а також службової інформації для зв'язку з додатком MS Access;

бази даних у середовищі MS Access, що дозволяє організувати зберігання та обробку масивів різних форматів (цифрових, текстових, графічних, растрових, відеофільмів, комп'ютерної анімації) по об'єкту "Укриття";

моделей сучасного стану приміщень і промислового майданчика об'єкта "Укриття" у вигляді проектів програми комп'ютерної графіки 3ds max, які дозволяють отримувати растрові зображення, анімацію маршрутів переміщення й після відповідного формування моделей віртуальної реальності на мові VRML відстежувати динаміку поведінки об'єктів з урахуванням фізичних параметрів системи в середовищі Internet (рис. 1).

У роботі показано можливість використання інтегрованої інформаційної моделі (ІІМ) для: дослідження закономірностей зміни та аналізу радіаційної обстановки на території промислового майданчика об'єкта "Укриття" (рис. 2 і 4);

візуального представлення засобами комп'ютерної графіки прогнозованих аварійних ситуацій (рис. 3);

розробки та візуалізації засобами комп'ютерної анімації маршрутів переміщення по приміщеннях і на промисловому майданчику об'єкта "Укриття" з розрахунком доз персоналу на окремих ділянках маршрутів і в зоні проведення робіт (див. рис. 2 і 4);

інтеграції растрового зображення конструкції та векторної комп'ютерної моделі об'єктів (див. рис. 4).

Результати робіт по даному напрямку відображено в роботах [19, 24, 27, 30 та ін.].

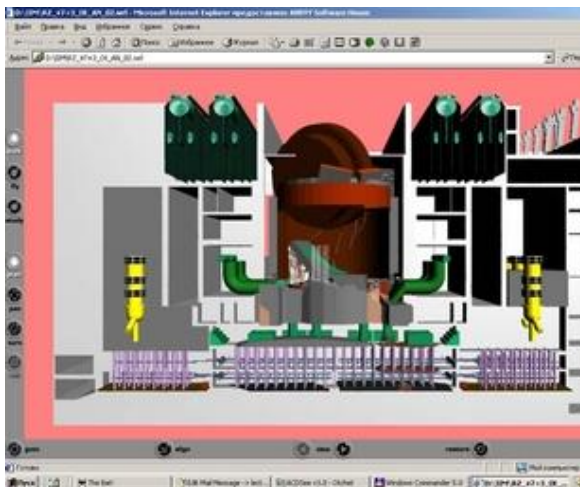


Рис. 1 Модель сучасного стану приміщень об'єкта "Укриття" в редакторі VRML.



Рис. 2. Маршрут доступу на промисловому майданчику об'єкта "Укриття" із зазначенням потужності експозиційної дози (ПЕД).

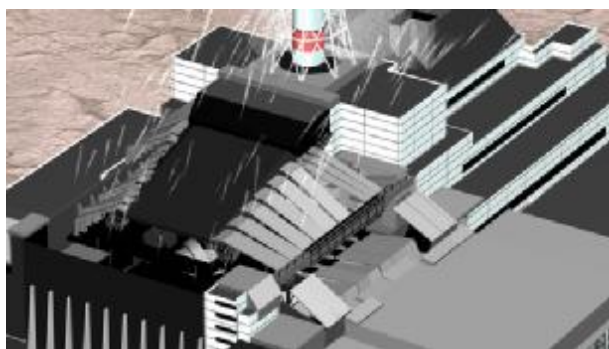


Рис. 3. Обвалення покрівлі об'єкта "Укриття" при землетрусі.



Рис. 4. Інтеграція фото об'єкта "Укриття" і моделі конструкції посилення об'єкта з маршрутом доступу і дозою на маршруті.

### Побудова моделей гамма-полів

Результати, методологія і технічні засоби дослідження об'ємних гамма-полів у повітряному просторі поблизу об'єкта «Укриття» викладено в [31]. Побудова об'ємних моделей поверхонь для радіаційних полів виконувалася з використанням програмного продукту AutoCAD і його спеціалізованого модуля Land Development Desktop. На основі даних моделей засобами програми комп'ютерної графіки 3ds max побудовано тривимірну модель для візуального представлення об'ємного розподілу радіаційного поля для заданих перерізів (рис. 5).

На рис. 6 показано моделювання напрямку на основне джерело, що визначає радіаційну обстановку в даній точці. Дані отримані на основі результатів обробки вимірювань кутових розподілів гамма-випромінювання [6 - 9].

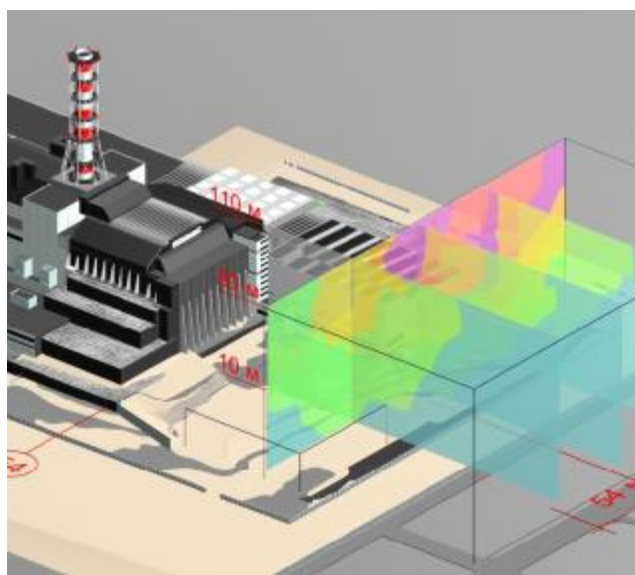


Рис. 5. Модель гамма-поля в зоні зведення НБК (дані на червень 2004 р.)

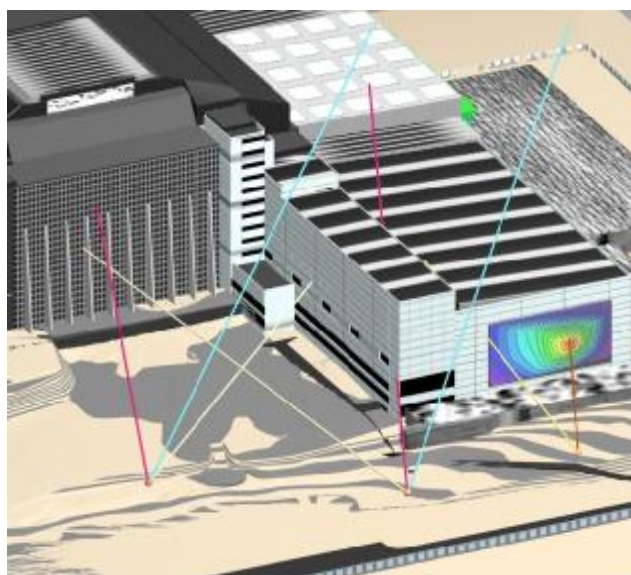


Рис. 6. Вимірювання кутових розподілів гамма-випромінювання (дані на червень 2004 р.) та модель напряму на основні джерела в машинному залі.

### Представлення даних вимірювань ПЕД гамма-випромінювання засобами технологій геоінформаційних систем

Побудова об'ємного розподілу радіаційних полів на ділянці будівництва НБК за даними вимірювань ПЕД здійснюється шляхом створення проекту геоінформаційної системи (ГІС) тривимірних моделей радіаційних полів засобами настільної ГІС ArcView 8.3 з додатковими модулями 3D Analyst, Spatial Analyst.

Побудова проекту передбачає ряд етапів:

прив'язка результатів вимірювань (точок замірів на плані) до місцевої системи координат генплану об'єкта «Укриття»;

розробка бази даних у середовищі MS Access вимірних значень ПЕД на заданих висотних позначках;

побудова двовимірних масивів точок замірів у горизонтальній площині по заданих висотах вимірювань засобами ArcView 8.3;

побудова карт розподілу ПЕД у горизонтальній площині по заданим висотам вимірювань засобами ArcView 8.3;

побудова тривимірної моделі зовнішніх конструкцій об'єкта «Укриття», проммайданчика в зоні будівництва НБК, ескізної тривимірної моделі НБК засобами ArcView 8.3;

побудова об'ємного розподілу радіаційних полів на ділянці будівництва НБК, спільно з тривимірними моделями об'єкта «Укриття» та НБК, засобами ArcView 8.3

Побудова двовимірних масивів точок замірів у горизонтальній площині по висотах засобами ArcView 8.3 і побудова карт розподілу ПЕД у горизонтальній площині по висотах засобами ArcView 8.3 (рис. 7) виконується за методиками, викладеними в [32].

Основою тривимірної моделі зовнішніх конструкцій об'єкта «Укриття», проммайданчика в зоні будівництва НБК, моделі НБК є тривимірні креслення у вигляді файлу \* .DWG системи автоматизованого проектування (САПР). Об'єкти в ArcScene (модуль тривимірної візуалізації ArcView 8.3) показано так ( див. рис. 7), як це визначено у файлі САПР.

Результатом побудови об'ємного розподілу радіаційних полів на ділянці будівництва НБК засобами ArcView 8.3 є ГІС-проект, інтерфейс якого показано на рис. 8.

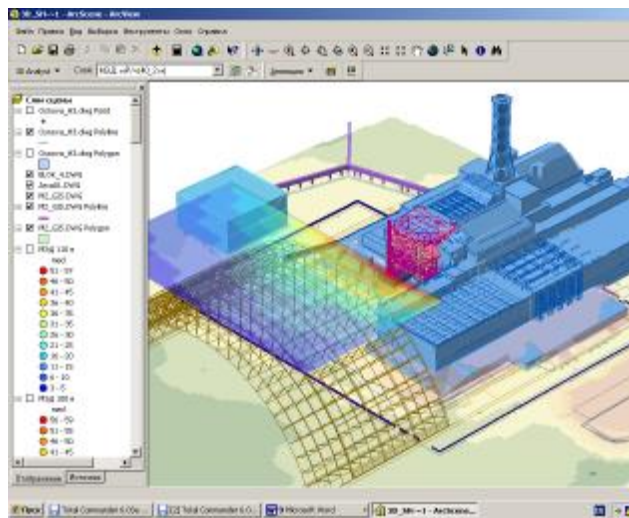


Рис. 7. Вигляд в ArcScene тривимірної моделі об'єкта «Укриття» в місці спорудження НБК.

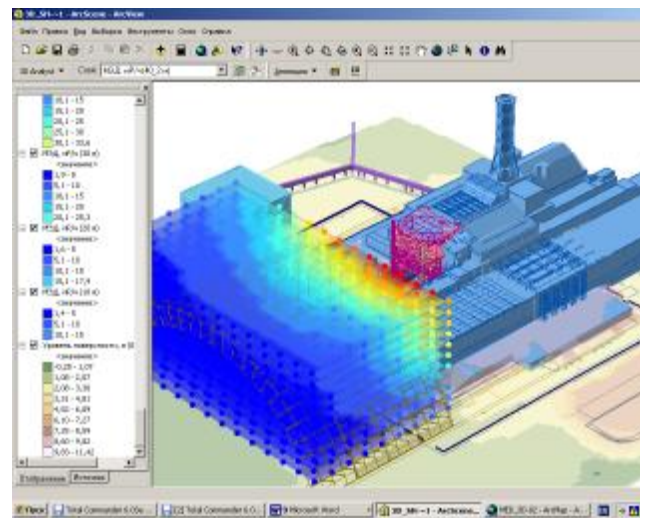


Рис. 8. Гамма-поля на ділянці будівництва НБК.

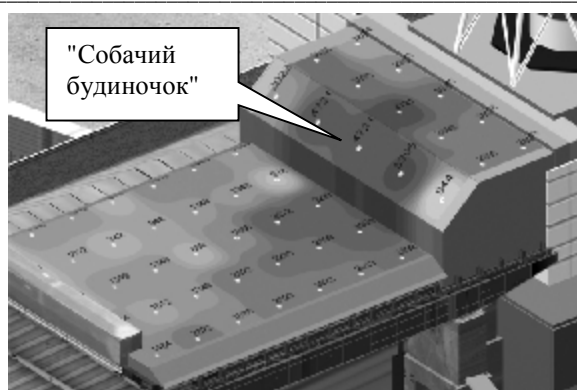
### Аналіз гамма-поля в приміщеннях об'єкта "Укриття"

У роботі [15] проведено аналіз значень ПЕД у зоні центрального залу (ЦЗ) об'єкта "Укриття", отриманих у результаті комплексу досліджень, що проводились в 1988 - 1992 рр. Побудовано об'ємні розподіли ПЕД у ЦЗ, шахті реактора і південному басейні витримки з перерахунком на 2015, 2030, 2050 рр.

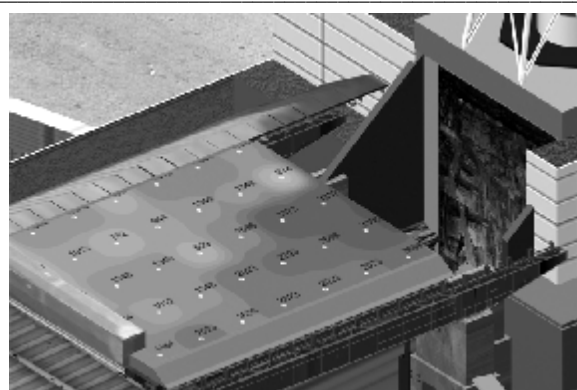
На рис. 9 наведено картограму ПЕД на легкій покрівлі об'єкта "Укриття". Як видно з рисунка, найбільші значення ПЕД, що перевищують мінімальні її значення в кілька разів, розташовані над східною стороною ЦЗ у районі конструкції "Собачий будиночок" (див. рис. 9, а), яка розташована над вузлом розвішування свіжого палива (рис. 9, б).

Для подальшого вивчення внеску в ПЕД від різних джерел у ЦЗ було проведено аналіз наявних даних із радіаційної обстановки безпосередньо в ЦЗ. Усі точки вимірювання було зведено до єдиної координатної системи відліку, значення ПЕД перераховано на єдиний момент часу і внесено в базу даних "ПЕД в ЦЗ об'єкта" Укриття ", розроблену в середовищі Microsoft ACCESS. У цій базі даних містяться: номер точки вимірювання; координати точок замірів; показання датчиків на момент проведення замірів; перерахунок вимірних ПЕД на 2015, 2030 і 2050 рр.

Картограму ПЕД у ЦЗ об'єкта "Укриття" (у перерахунку на 2015 р.) представлено на рис. 10. Найбільші значення (близько 1000 Р/год) спостерігаються поблизу північного басейну витримки. На схемі "Е" ПЕД сягає значень понад 400 Р/год.



а



б

Рис. 9. Картограма ПЕД над ЦЗ (на 2015 р.).

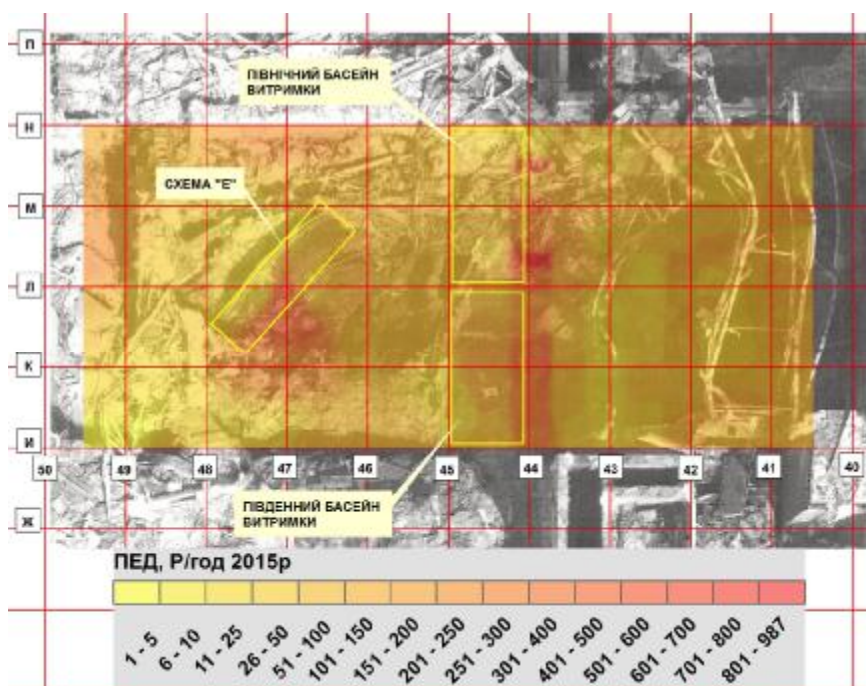


Рис. 10. Картограма ПЕД у ЦЗ об'єкта "Укриття" (значення наведено на 2015 р.).

На основі даних з об'ємного розподілу ПЕД розроблено базу даних, сформовану як набір даних географічно пов'язаної інформації за допомогою програмного продукту ArcGIS 10.1. Отриманий набір даних було оброблено модулем тривимірної інтерполяції Iso-liner.

Найбільш значимі перерізи просторового розподілу гамма-поля: переріз по осі Л + 3 м; переріз по осі 44; переріз по осі 47; переріз на позначці +36 м (поверхня ЦЗ) - представлено у вигляді об'ємної картограми на рис. 11. Як видно з рисунка, максимальні значення ПЕД у ЦЗ розташовані поблизу басейнів витримки, трохи вище позначки +36 м (на завалах ЦЗ).

Найбільш значимі перерізи просторового розподілу гамма-поля: переріз по осі Л + 3 м; переріз по осі 44; переріз по осі 47; переріз на позначці +36 м (поверхня ЦЗ) - представлено у вигляді об'ємної картограми на рис. 11. Як видно з рисунка, максимальні значення ПЕД у ЦЗ розташовані поблизу басейнів витримки, трохи вище позначки +36 м (на завалах ЦЗ).

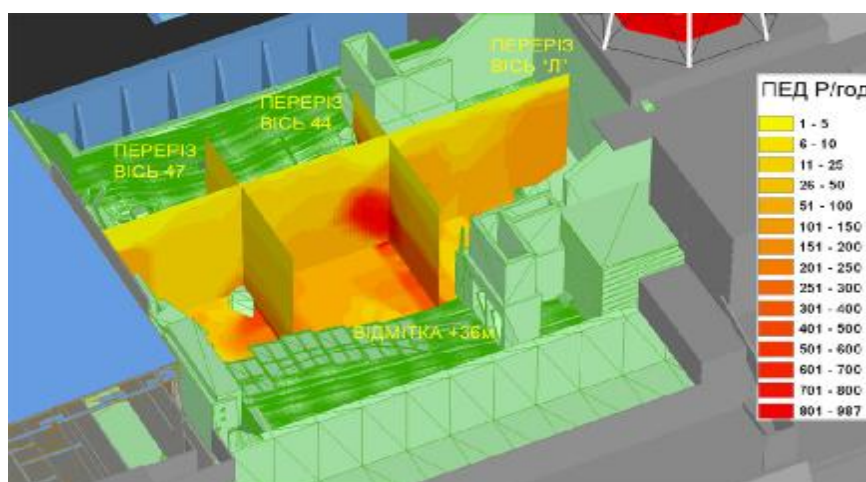


Рис. 11. Тривимірна картограма ПЕД у ЦЗ.

Для цілей оптимізації процесу вилучення ПВМ великий інтерес представляють приміщення шахти реактора. Комп'ютерну модель розташування дослідних свердловин і точок вимірювань ПЕД у шахті реактора наведено на рис. 12 [15].

Як видно з рис. 13, максимальні значення ПЕД спостерігаються у верхній частині шахтного простору і визначаються залишками технологічних каналів із паливом на схемі "Е".

Випромінювання в нижній частині простору визначається лавоподібними ПВМ. Наявність мінімуму в центральній частині вказує на те, що видалення каналів зі схеми "Е" дозволить істотно поліпшити радіаційну обстановку в НБК.

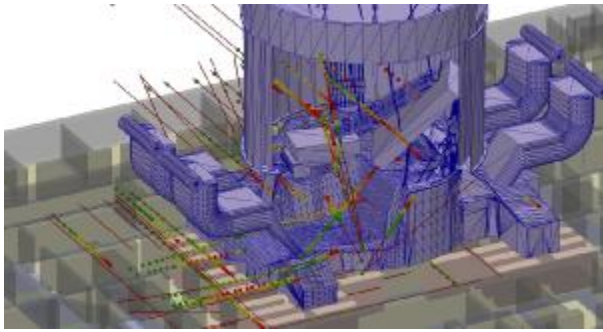


Рис. 12. Тривимірне розташування точок вимірювання ПЕД у просторі шахти реактора.

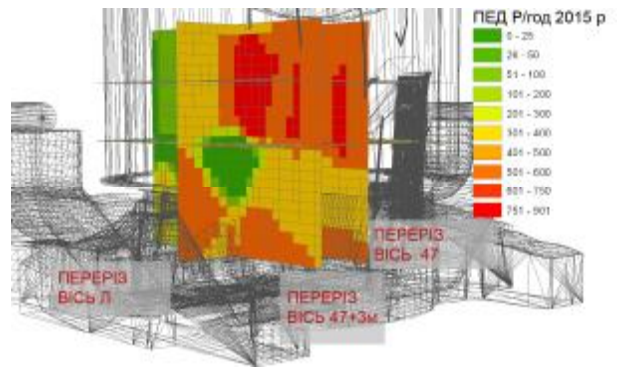


Рис. 13. Перерізи гамма-поля в просторі шахти реактора по осях Л, 47, 47 + 3 м.  
Дані наведено на 2015 р.

### КМ на етапах стабілізації об'єкта "Укриття", створення НБК і демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта "Укриття"

КМ активно використовувалося при розробці проекту стабілізації будівельних конструкцій об'єкта "Укриття" та проектуванні НБК. Наразі з використанням КМ виконується опрацювання технологічних рішень з демонтажу нестабільних конструкцій об'єкта "Укриття" за допомогою систем НБК.

На рис. 14 наведено приклад моделювання шляхів доступу із зазначенням картограми ПЕД на маршруті. Значення ПЕД уточнювалися в рамках передпроектних досліджень. Моделювання такого роду дозволяє оптимізувати маршрут за такими основними критеріями, як час на маршруті та індивідуальна доза на маршруті.

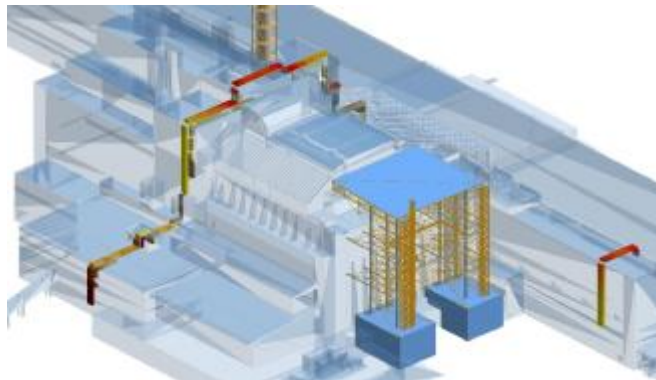


Рис. 14. Тривимірна модель об'єкта "Укриття" та картограма розподілу ПЕД гамма-випромінювання на маршрутах доступу і в зонах виконання робіт із кріплення опорних частин балок герметизації

На рис. 15 представлено перший ескізний проект нової захисної оболонки над об'єктом "Укриття". Тривимірна модель розроблялася ІПБ АЕС (на той час МНТЦ «Укриття» НАН України) у 2001 р. Модель було підготовлено для візуалізації перших концептуальних рішень НБК для наради з Європейським банком реконструкції та розвитку (ЄБРР).

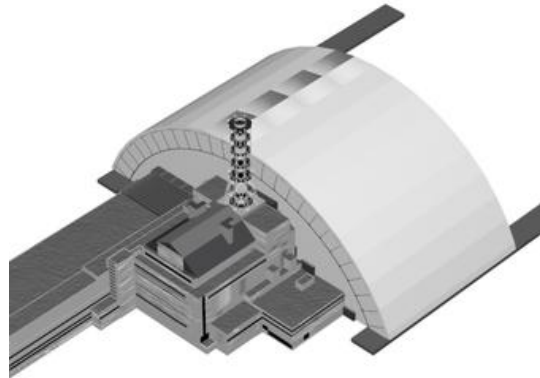


Рис. 15. Тривимірна модель НБК на етапі концептуального проектування НБК.

### КМ процесу вилучення ПВМ

В ІПБ АЕС було розроблено імітаційну модель вилучення ПВМ із верхніх позначок об'єкта "Укриття" [26, 27]. Основне завдання імітаційної моделі - забезпечити детальне відпрацювання обраного сценарію здійснення технологічної операції. Також імітаційна модель повинна дозволяти на основі наявних відпрацьованих технологічних операцій оптимізувати їхнє виконання й підбирати найбільш оптимальні сценарії.

На імітаційній моделі було виконано аналіз можливості застосування кранів НБК для демонтажу будівельних конструкцій об'єкта "Укриття" (рис. 16 і 17).

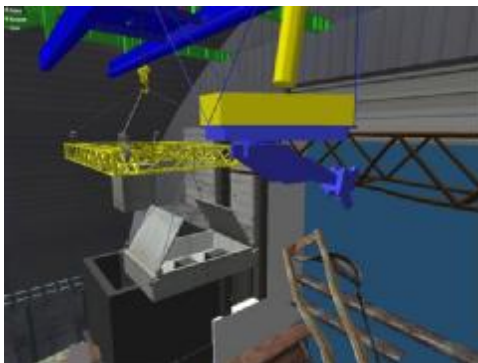


Рис. 16. Демонтаж ферм покрівлі та площадок обслуговування вузла розв'язки на східній стіні ЦЗ.

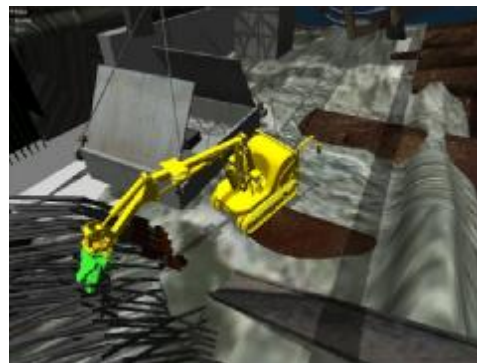


Рис. 17. Демонтаж тепловіділяючих збірок на схемі "Е".

На базі імітаційної моделі за допомогою програмного продукту Unity3D 3.4 створено інтерактивну модель сучасного стану 4-го блока об'єкта "Укриття", НБК та системи кранів НБК. Для її встановлення на комп'ютер не потрібно додаткового програмного забезпечення.

Головне вікно інтерактивної моделі НБК та об'єкта "Укриття" показано на рис. 18.

#### Проблеми та завдання КМ на наступних етапах перетворення об'єкта "Укриття"

Враховуючи наявність великої кількості складних проблем, пов'язаних з вилученням ПВМ і подальшим перетворенням об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему, необхідно цілеспрямовано розвивати й використовувати методи КМ для вирішення всіх виникаючих задач.

Так, для розробки детального проекту вилучення ПВМ із верхніх позначок необхідно створити детальну інженерну модель розташування ПВМ й уточнену модель радіаційної обстановки з урахуванням нових даних, які будуть отримані за допомогою навісного обладнання кранів НБК (фото- і відеоінформація, об'ємні розподіли ПЕД, кутові та енергетичні розподіли гамма-випромінювання в різних точках, особливо в зонах обслуговування систем НБК, рівень поверхневого забруднення будівельних конструкцій та обладнання).

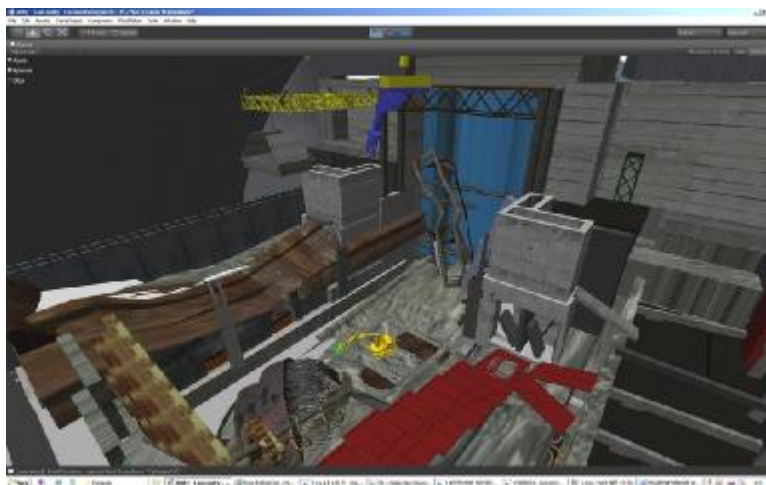


Рис. 18. Інтерактивна модель об'єкта "Укриття" та НБК.



Така модель повинна створюватися на основі уточненої моделі стану об'єкта "Укриття" після видалення нестабільних будівельних конструкцій. Крім того, модель розташування ПВМ повинна бути динамічною, тобто дозволяти швидко вносити зміни при видаленні окремих джерел гамма-випромінювання для зменшення доз обслуговуючого персоналу НБК. Модель повинна включати приміщення, до яких є доступ із верхніх позначок і які, при необхідності, можна використовувати для захоронення короткоіснуючих РАВ в об'єкті "Укриття" [33].

Необхідно провести КМ процесів:

вимірювання поверхневих забруднень, зокрема з використанням кореляційних відносин між  $^{241}\text{Am}$  і  $^{137}\text{Cs}$ , як це було запропоновано в [33];

первинного сортування ПВМ безпосередньо в місцях їхнього вилучення з урахуванням радіаційної обстановки (реальні фонові умови);

вилучення ПВМ із верхніх позначок за допомогою систем створюваного НБК [26 і 27] з урахуванням реальних характеристик навісного обладнання кранів НБК після їхнього монтажу, у тому числі вибіркового вилучення найбільш інтенсивних джерел випромінювання до створення всієї інфраструктури вилучення ПВМ;

вилучення ПВМ зі схеми "Е" і процесу демонтажу/консервації цієї схеми;

вилучення ПВМ із шахти реактора і сусідніх приміщень;

вилучення ПВМ із південного басейну витримки;

вилучення ПВМ із нижніх відміток об'єкта "Укриття".

Необхідно розробити інтерактивну модель для навчання і тренувань персоналу при виконанні діяльності з уточнення радіаційної обстановки, вилучення ПВМ та ін.

Аналіз альтернативних шляхів вилучення ПВМ [34] показує, що за певних умов, наприклад при нестачі матеріальних засобів для невідкладного вилучення всіх скупчень ПВМ, не виключена можливість відкладеного (після зняття з експлуатації Арки НБК) вилучення ПВМ з нижніх позначок. Для обґрунтованого розгляду такого варіанта необхідно провести КМ консервації окремих скупчень ПВМ на строк до 300 років з урахуванням допустимих викидів та скидів.

## Висновки

Використання КМ є необхідною передумовою для забезпечення радіаційної безпеки та оптимізації процесу виконання робіт у важких радіаційних умовах, зокрема при ліквідації наслідків аварій. При цьому доцільно використовувати комплексний підхід використання інженерних (для моделювання зон виробництва робіт) та імітаційних (для моделювання технологічних процесів при ліквідації наслідків аварії) комп'ютерних моделей. На основі імітаційної моделі може бути розроблена інтерактивна модель для навчання персоналу, який планується задіяти у виконанні робіт.

В ПБ АЕС опрацьовано науково-методичні та практичні основи діяльності з розроблення, впровадження та застосування таких комп'ютерних моделей в умовах об'єкта «Укриття». Зокрема, моделювання широко використовувалося для вирішення різних завдань, таких як вибір оптимальних сценаріїв перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему, удосконалення методів вимірювання радіаційної обстановки в умовах об'єкта "Укриття", моделювання радіаційної обстановки та динаміки її зміни в об'єкті "Укриття" і поблизу нього, забезпечення радіаційної безпеки у процесі експлуатації та перетворення об'єкта "Укриття", зокрема вилучення ПВМ та ін.

Застосування інформаційних технологій імітаційного моделювання і цифрових комп'ютерних моделей стосовно до процесу вилучення ПВМ із верхніх позначок об'єкта «Укриття» дозволило вже на ранній стадії опрацювання технічних пропозицій виявити деякі принципові проблеми застосування технічних засобів НБК, зокрема системи основних кранів. Показано, що подальший розвиток і використання моделей дозволить оптимізувати процес вилучення ПВМ, зменшити дози персоналу і витрати, а також імовірність аварій.

Застосування імітаційної моделі дозволить вибрати та оптимізувати проектні рішення вилучення ПВМ за заданими критеріями, верифікувати його на предмет відповідності встановленим вимогам, створити інтерактивний програмний комплекс для детального навчання та підготовки персоналу.

Застосування комп'ютерної графіки при плануванні та виконанні операцій з обслуговування, ремонту та заміни обладнання в радіаційно-небезпечних умовах дасть змогу приймати обґрунтовані рішення про доцільність тієї чи іншої діяльності, вибрати оптимальні технічні рішення та оптимізувати радіаційний захист.

Необхідний подальший розвиток методів КМ для вирішення завдань остаточного перетворення об'єкта "Укриття". У першу чергу це стосується створення детальної інженерної моделі об'єкта "Укриття" та розташування ПВМ після демонтажу нестабільних конструкцій. Така модель повинна дозволити легко вносити зміни при видаленні окремих скупчень ПВМ.

Для вибору оптимальних рішень щодо подальшого перетворення об'єкта "Укриття" доцільно удосконалити методи моделювання процесів вимірювання радіаційних характеристик (поверхневих альфа і бета-забруднень, кутових та енергетичних розподілів гамма-випромінювання), розробити уточнені моделі радіаційної обстановки, провести моделювання таких процесів, як первинне сортування ПВМ безпосередньо в місцях їхнього вилучення, вилучення основних скупчень ПВМ.

Для забезпечення безпеки при виконанні робіт необхідно розробити інтерактивну модель для навчання і тренувань персоналу при виконанні різних видів діяльності.

Для обґрунтованого розгляду варіанта відкладеного вилучення окремих скупчень ПВМ необхідно провести КМ різних варіантів їхньої консервації з урахуванням вимог безпеки.

Дуже важливим є проведення КМ можливих варіантів перетворення об'єкта "Укриття" у сховище для довгострокового зберігання радіоактивних відходів, включаючи оцінку впливів на навколишнє середовище.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Об'єкт "Укриття": 30 років після аварії* : монографія / В. О. Краснов, А. В. Носовський, В. М. Рудько, В. М. Щербін. - Чорнобиль: ІПБ АЕС НАН України, 2016. - 512 с.
2. *Алешин А.М., Батий В.Г., Ключников А.А. и др.* Анализ концептуальных проектов преобразования объекта "Укрытие" // Наукові та технічні аспекти міжнародного співробітництва в Чорнобилі: зб. наук. ст. - Славутич, 2000. - С. 283 - 288.
3. *Батий В.Г., Деренговский В.В.* Методика выбора площадки радиационных объектов // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. - 2005. - Вып. 1. - С. 43 - 50.
4. *Батий В.Г., Рудько В.М., Прохорец И.М. и др.* Математическое моделирование процесса измерения ТУЭ в радиоактивных отходах // Сб. науч. тр. Севастопол. нац. ин-та ядерной энергии и промышленности. - 2004. - Вып. 12. - С. 303 - 309.
5. *Батий В.Г., Правдивый А.А., Стоянов А.И.* Оценка граничных условий применения ковшевого дозиметра для первичной сортировки при проведении земляных работ // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. - 2005. - Вып. 2. - С. 92 - 98.
6. *Batiy V.G., Fedorchenko D.V., Prokhorets I.M. et al.* Spherical detector device mathematical modelling with taking into account detector module symmetry // Problems of atomic science and technology. Series "Nuclear physics investigations". - 2005. - No. 6 (45). P. 63 - 65.
7. *Batiy V., Stoyanov O., Fedorchenko D. et al.* Mathematical Modeling to Support Gamma Radiation Angular Distribution Measurements // 2007 Waste Management Symposium. - Tucson, USA, 2006. - CD, 2007, No. 7256.
8. *Батий В.Г., Егоров В.В., Хажмурадов М.А. и др.* Математическое моделирование углового разрешения многодетекторной установки для поиска интенсивных источников гамма-излучения // Сб. науч. тр. Севастопол. нац. ин-та ядерной энергии и промышленности. - 2007. - № 3(23). - С.15 - 21.
9. *Батий В.Г., Батий Е.В.* Нейронно-сетевая модель процесса измерения угловых распределений интенсивности гамма-излучения // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. - 2008. - Вып. 9. - С. 28 - 30.
10. *Батий В.Г., Федорченко Д.В.* Моделирование изменения радиационной обстановки при производстве земляных работ на радиоактивно-загрязненной территории // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. - 2005. - Вып. 1. - С. 65 - 70.
11. *Батий В.Г., Егоров В.В., Рудько В.М. и др.* Расчет нейтронного и гамма-излучения топливосодержащих материалов // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. - 2005. - Вып. 1. - С. 80 - 87.
12. *Батий В.Г., Глебкин С.И., Павловский Л.И. и др.* Оценка вклада гамма - излучения объекта "Укрытие" в мощность дозы на близлежащей территории // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. - 2005. - Вып. 2. - С. 82 - 85.
13. *Батий В.Г., Егоров В.В., Рубежанский Ю.И.* Математическое моделирование процесса распространения радиоактивных аэрозолей внутри радиационно-опасных объектов // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. - 2007. - Вып. 7. - С. 55 - 61.
14. *Batiy V.G., Fedorchenko D.V.* Simulation of radiation conditions in contaminated rooms // Problems of atomic science and technology. Series "Nuclear physics investigations". - No. 6 (45). - 2005. - P. 63 - 65.
15. *Батий В.Г., Подберезный С.С., Стоянов А.И.* Объемное распределение полей гамма-излучения в зоне центрального зала 4-го энергоблока ЧАЭС // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чорнобиля. - 2014. - Вып. 23. - С. 66 - 73.

16. Батий В.Г., Сізів А.О., Федорченко Д.В., Холодюк А.О. Динаміка зміни концентрації радіоактивних аерозолів під час вилучення паливовміщуючих матеріалів з об'єкта «Укриття» // Ядерна та радіаційна безпека. - 2015. - Вип.4. - С. 57 - 66.
17. Батий В.Г., Деренговский В.В., Кочнев Н.А. и др. Оптимизация разовой дозы и толщины биозащиты при проведении работ на объекте "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2000. - Вип. 6. - С. 44 - 53.
18. Калиновский А.К., Батий В.Г., Правдивый А.А. Применение методов моделирования для оценки удельной активности <sup>137</sup>Cs в геологической среде // 36. наук. праць Ін-ту ядерних дослідж. НАН України. - 2005. - Вип. 1 (14). - С. 151 - 159.
19. Ключников А.А., Рудько В.М., Батий В.Г. и др. Компьютерное моделирование деятельности в радиационно-опасных зонах // Сб. науч. тр. Севастопол. нац. ин-та ядерной энергии и промышленности. - 2004. - Вып. 12. - С. 310 - 315.
20. Batiy V., Paskevych S., Rudko V. et al. Admissible Release from the Chernobyl New Safe Confinement // Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination & Reutilization, Denver, USA, August 7 - 11, 2005. - P. 214 - 219.
21. Batiy V., Glebkin S., Yegorov V. et al. Mathematical and Experimental Shielding Modeling // Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination & Reutilization, Denver, USA, August 7 - 11, 2005. - P. 233 - 236.
22. Paskevych S., Gorodecky D., Sizov A., Batiy V. Impact Assessment of Radiological Consequence of Technogenic Activities in Chernobyl Exclusion Zone // Proceedings "The International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity". Bergen. Norway. 15 - 20 June, 2008. Oral and Oral Poster Presentation. Part 1. - P. 270 - 273.
23. Батий В.Г., Рубежанський Ю.І., Сізів А.О. та ін. Досвід застосування математичного моделювання в роботах по забезпеченню радіаційної безпеки // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2009. - Вип. 11. - С. 93 - 103.
24. Коротенко М.Н., Кравченко И.К., Рудько В.М. и др. Перспективы применения компьютерного моделирования радиационно-опасных зон в целях оптимизации дозовых нагрузок персонала // Сб. науч. тр. Севастопол. нац. ин-та ядерной энергии и промышленности. - 2005. - Вып. 15. - С. 113 - 120.
25. Батий В. Г., Егоров В.В., Рубежанский Ю. И. Задача об управлении радиационными рисками объекта с радиационно-опасными технологиями // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2012. - Вип. 18. - С. 88 - 95.
26. Батий В. Г., Романов Д. Н., Подберезный С. С. и др. Компьютерное моделирование процесса извлечения топливосодержащих материалов с верхних отметок объекта "Укрытие" // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2014. - Вип. 23. - С. 74 - 81.
27. Балан О. В, Батий В. Г., Глебкін С.І. та ін. Принципові технологічні рішення із вилучення паливовмісних матеріалів з верхніх відміток об'єкта «Укриття» // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2015. - Вип. 25. - С. 83 - 93.
28. Ковалев Р.В., Даниленко Д.В. Введение в моделирование динамики механических систем. <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=18949&iid=880>.
29. [http://www.neolant.ru/press-center/aboutus/index.php?ELEMENT\\_ID=1709](http://www.neolant.ru/press-center/aboutus/index.php?ELEMENT_ID=1709)
30. Подберезный С.С. Моделирование реального состояния объекта "Укрытие" в 3D измерении // Проблеми Чорнобиля. - 2001. - Вип. 7. - С. 212 - 214.
31. Довыдьков А.И., Краснов В.А., Щербин В.Н. Исследование полей гамма-излучения в воздушном пространстве объекта «Укрытие» в зоне строительства «Арки». - Чернобыль, 2006. - 36 с. - (Препр. / НАН Украины. ИПБ АЭС; 06-5).
32. Подберезный С. С., Панасюк Н. И., Оружий А. П. Применение технологий геоинформационных систем при обработке данных радиоекологического мониторинга в районе объекта "Укрытие" // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2005. - Вип. 2. - С. 99 - 103.
33. Батий В. Г., Егоров В.В., Рудько В.М., Щербин В. М. Критерії щодо перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2015. - Вип. 24. - С. 85 - 91.
34. Батий В.Г., Щербин В.Н., Щупленникова А.В. Анализ возможных путей обращения с топливосодержащими материалами после завершения строительства нового безопасного конфайнмента // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2014. - Вип. 23. - С. 32 - 44.

**В. Г. Батий, С. С. Подберезный, В. М. Рудько, В. Н. Щербин**

*Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина*

#### **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ І ПРЕОБРАЗОВАННІ ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»**

Проведены обзор и анализ деятельности по применению компьютерного моделирования для поддержки работ по эксплуатации и преобразованию объекта "Укрытие" ЧАЭС. Показана специфика задач, решаемых с

использованием различных методов моделирования. Приведены рекомендации по дальнейшему развитию и использованию методов компьютерного моделирования на последующих этапах преобразования объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему.

*Ключевые слова:* Чернобыльская АЭС, объект «Укрытие», новый безопасный конфайнмент, топливосодержащие материалы, радиоактивные отходы, извлечение, компьютерное моделирование, компьютерная графика.

**V. G. Batiy, S. S. Podbereznyi, V. M. Rudko, V. M. Shcherbin**

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine*

### **COMPUTER SIMULATION OF THE " UKRYTTYA " OBJECT OPERATION AND TRANSFORMATION**

The review and analysis of the activity on the computer simulation application for support the operation and transformation of the CNPP "Ukryttya" object have been carried out. The specificity of problems solved by using of various modeling techniques was shown. Recommendations for further development and use of computer modeling techniques at subsequent stages of the "Ukryttya" object transformation into an ecologically safe system are given.

*Keywords:* Chornobyl NPP, object " Ukryttya", new safe confinement, fuel-containing materials, radioactive waste, extraction, computer simulation, computer graphics.

#### REFERENCES

1. "Shelter" object: 30 years after the accident: monograph / V.O. Krasnov, A.V. Nosovskiy, V.M. Rud'ko, V.M. Shcherbin. – Chornobyl: Institute for Safety Problems of NPP, 2016. - 512 p. (Ukr)
2. *Aljoshin A.M., Batiy V.G., Kluchnikov A.A. et al.* Analysis of the conceptual projects of the "Shelter" transformation // Scientific and Technical Aspects of International Cooperation in Chernobyl: Reports proceedings. - Slavutich, 2000. - P. 283 - 288. (Rus)
3. *Batiy V.G., Derengovskiy V.V.* Methods of radiation objects site selection // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyl). - 2005. - Iss. 1. - P. 43 - 50. (Rus)
4. *Batiy V.G., Rud'ko V.M., Prokhorets I.M. et al.* Mathematical simulation of the process of TUE measurement in radioactive waste // Proc. of Sevastopol national institute of Nuclear Energy and Industry. - 2004. - Vol. 12. - P. 303 - 309. (Rus)
5. *Batiy V.G., Pravdivy A.A., Stoyanov A.I.* Assessment of the boundary conditions for the application of bucket dosimeter at primary sorting during earthworks // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyl). - 2005. - Iss. 2. - P. 92 - 98. (Rus)
6. *Batiy V.G., Fedorchenko D.V., Prokhorets I.M. et al.* Spherical detector device mathematical modelling with taking into account detector module symmetry // Problems of atomic science and technology. Series "Nuclear physics investigations". – 2005. - No. 6 (45). - P. 63 - 65.
7. *Batiy V., Stoyanov O., Fedorchenko D. et al.* Mathematical Modeling to Support Gamma Radiation Angular Distribution Measurements // 2007 Waste Management Symposium. – Tucson, USA, 2006. - CD, 2007, No. 7256.
8. *Batiy V.G., Yegorov V.V., Khazhmuradov M.A. et al.* Mathematical modeling of the angular resolution of multi-detector systems for search intensive gamma-radiation sources // Proc. of Sevastopol national institute of Nuclear Energy and Industry. – 2007. – No. 3 (23). - P. 15 - 21. (Rus)
9. *Batiy V.G., Batiy E.V.* Neural network model of measuring the angular distribution of gamma radiation intensity. // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyl). - 2008. - Iss. 9. - P. 28 - 30. (Rus)
10. *Batiy V.G., Fedorchenko D.V.* Simulation of changes in the radiation situation during earthworks at the radioactively contaminated territory. // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyl). - 2005. - Iss. 1. - P. 65- 70. (Rus)
11. *Batiy V.G., Yegorov V.V., Rud'ko V.M. et al.* Calculation of neutron and gamma radiation of fuel containing materials // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyl). - 2005. - Iss. 1. - P. 80 - 87. (Rus)
12. *Batiy V.G., Glebkin S.I., Pawlowski L.I. et al.* Evaluation of the contribution of the "Shelter" gamma - radiation to the dose rate at the nearby territory // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyl). - 2005. - Iss. 2. - P. 82 - 85. (Rus)
13. *Batiy V.G., Yegorov V.V., Rubezhanskiy Yu.I.* Mathematical simulation of process of the radioactive aerosols spread inside the radiation-hazardous objects // Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyl). - 2007. - Iss. 7. - P. 55 - 61. (Rus)
14. *Batiy V.G., Fedorchenko D.V.* Simulation of radiation conditions in contaminated rooms // Problems of atomic science and technology. Series "Nuclear physics investigations". - № 6 (45). - 2005. - P. 63 - 65.

15. *Batiy V.G., Podbereznyj S.S., Stoyanov A.I.* The volumetric gamma radiation field distribution in the area of the central hall of the CNPP 4th unit // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyly)*. – 2014. - Iss. 23. - P. 66 - 73. (Rus)
16. *Batiy V.G., Sizov A.O., Fedorchenko D.V., Kholodyuk A. O.* Dynamics of changes in the concentration of radioactive aerosols during the extraction of the fuel containing material from "Shelter" // *Yaderna ta radiatsiyina bezpeka (Nuclear and Radiation Safety)*. –No. 4. – 2015. – P. 57 - 66. (Ukr)
17. *Batiy V.G., Derenhovskiy V.V., Kochnev N.A. et al.* Optimization of the single dose and the shielding thickness during works at the "Shelter" object // *Problemy Chornobylya (Problems of Chornobyly)*. – 2000. - Iss. 6. - P. 44 - 53. (Rus)
18. *Kalinowskiy A.K., Batiy V.G. , Pravdiviy A.A.* Application of modeling techniques for evaluation the specific <sup>137</sup>Cs activity in the geological environment // *Proceedings of Institute of Nuclear Research of NAS of Ukraine, Kiev*. – 2005. - No. 1 (14). – P. 151 - 159. (Rus)
19. *Kluchnikov A.A., Rud'ko V.M., Batiy V.G. et al.* Computer simulation of activities in radiation - hazardous areas. // *Proc. of Sevastopol national institute of Nuclear Energy and Industry*. - 2004. - No. 12. - P. 310 - 315. (Rus)
20. *Batiy V., Paskevych S., Rudko V. et al.* Admissible Release from the Chernobyl New Safe Confinement // *Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination & Reutilization, Denver, USA, August 7 - 11, 2005*. - P. 214 - 219.
21. *Batiy V., Glebkin S., Yegorov V. e .al* Mathematical and Experimental Shielding Modeling // *Proceedings of American Nuclear Society Topical Meeting on Decommissioning, Decontamination & Reutilization, Denver, USA, August 7 - 11, 2005*. - P. 233 - 236.
22. *Paskevych S., Gorodecky D., Sizov A., Batiy V.* Impact Assessment of Radiological Consequence of Technogenic Activities in Chernobyl Exclusion Zone // *Proceedings "The International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity"*. Bergen. Norway. 15 - 20 June, 2008. Oral and Oral Poster Presentation. Part 1. – P. 270 - 273.
23. *Batiy V.G., Rubezhansky Yu.I., Sizov S.A. et al.* Experience of mathematical simulation in the works at radiation safety ensure // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyly)*. - 2009. - Iss. 11. - P. 93 - 103.(Ukr)
24. *Korotenko M.N., Kravchenko I.K., Rud'ko V.M. et al.* Perspectives of application of computer simulation of radiation-hazardous areas in order to optimize the radiation exposure of personnel // *Proc. of Sevastopol national institute of Nuclear Energy and Industry*. 2005. - No.15. - P. 113 - 120 (Rus).
25. *Batiy V.G., Yegorov V.V., Rubezhansky Yu.I.* Задача об управлении радиационными рисками объекта с радиационно-опасными технологиями The problem of radiation risks management of object with the radiation-hazard technologies // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyly)*. - 2012. - Iss. 18. - P. 88 - 95. (Rus)
26. *Batiy V.G., Romanov D.N., Podbereznyj S. S. et al.* The simulation of the fuel-containing materials extraction from the "Shelter" upper levels // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyly)*. - 2014. - Iss. 23. - P. 74 - 81. (Rus)
27. *Balan O.V., Batiy V.G., Glebkin S.I.* The principal technological solutions of fuel containing materials extracting from the "Shelter" upper levels // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyly)*. - 2015. - Iss. 25. - P. 83 – 93 (Ukr).
28. *Kovalev R.V., Danilenko D.V.* Introduction to modeling of the mechanical systems dynamics. <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=18949&iid=880>.
29. [http://www.neolant.ru/press-center/aboutus/index.php?ELEMENT\\_ID=1709](http://www.neolant.ru/press-center/aboutus/index.php?ELEMENT_ID=1709)
30. *Podbereznyj S. S.* 3D modeling of the object "Shelter" real state // *Problemy Chornobylya (Problems of Chornobyly)*. – 2001. - Iss. 7. – P. 212 - 214. (Rus)
31. *Dovydkov A.I., Krasnov V.A., Shcherbin V.N.* Research of gamma radiation fields in the object "Shelter" air space in the the "Arche" construction zone. – Chernobyl, 2006. - 36 p. (Preprint NAS of Ukraine ISP NPP; 06-5). (Rus)
32. *Podbereznyj S.S., Panasiuk N.I., Oruzhiy A.P.* Application of geoinformation systems technology at processing of radioecological monitoring data in the "Shelter" area // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyly)*. – 2005. – Iss. 2. – P. 99 – 103. (Rus)
33. *Batiy V.G., Yegorov V.V., Rud'ko V.M., Scherbin V.M.* Criteria of the "Shelter" transformation into an ecologically safe system // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyly)*. - 2015. - Iss. 24. – P. 85 - 91. (Ukr)
34. *Batiy V.G., Shcherbin V.N., Schulepnikova A.V.* Analysis of possible ways of the fuel containing materials management after the completion of the New Safe Confinement construction // *Problemy bezpeky atomnykh electrostantsiy i Chornobylya (Problems of Safety of Nuclear Power Plants and Chornobyly)*. - 2014. - Iss. 23. - P. 32 - 44. (Rus)

Надійшла 26.07.2016

Received 26.07.2016